Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 933-946

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۹۴۶-۹۳۳

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی کارایی مدل سالت‌مد در شبیه‌سازی عملکرد گندم و شوری در شرایط خاک‌شور و غیرشور

محمدرضا امداد[1]*- آرش تافته[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴

چکیده

مدل سالت‌مد یکی از مدل‌های کاربردی بوده که به منظور شبیه‌سازی تغییرات عملکرد و شوری خاک در شرایط مختلف بکار می‌رود. این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در اراضی گندمکاری دشت آزادگان استان خوزستان و در سه منطقه رامسه (خاک شور)، عتابیه (خاک خیلی شور) و حمیدیه (خاک غیر شور) با هدف ارزیابی این مدل در شرایط شور اجرا شد. در این راستا سه قطعه ۱۰ هکتاری در هر منطقه انتخاب و در هر یک از این قطعات یک پایلوت به مساحت ۲۰۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد. در سال اول این مدل مورد واسنجی و در سال دوم برای سه شرایط خاک از نظر شوری در سه منطقه گندم‌کاری عتابیه، حمیدیه و رامسه (استان خوزستان) بمنظور بررسی تغییرات عملکرد دانه و کل و نیز تغییرات شوری خاک مورد استفاده واقع گردید. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه و بیوماس گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد در مناطق مورد نظر (با شوری‌های کم، متوسط و زیاد) وجود ندارد. خطای استاندارد عملکرد دانه و بیوماس گندم به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۶۳ تن در هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد دانه و بیوماس گندم ۰/۰۸ تعیین گردید. از طرف دیگر مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری شده در سه لایه (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل سالت‌مد تفاوت معنی‌داری نداشته و محدوده تغییرات خطای استاندارد شوری خاک بین ۰/۸۱ تا ۱/۱، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۰/۱۸ و میانگین انحراف خطای شوری خاک ۰/۱۳- بدست آمد. بنابراین این مدل از قابلیت، کارایی و دقت بالایی در شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بیوماس، خوزستان، عملکرد دانه، واسنجی

مقدمه

رشد گیاهان زراعی فرآیند پیچیده و عوامل متعددی را در بر می گیرد. با توجه به اینکه اعمال سناریوهای مختلف آبیاری در شرایط میدانی زمان بر و پر هزینه می‌باشد لذا نظر به محدودیت منابع آب در کشور و لزوم مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی، استفاده از مدیریت‌ها و راهکارهایی که بتوان با صرف هزینه و وقت کمتر تغییرات عملکرد و کارایی مصرف آب را شبیه‌سازی نمود حائز اهمیت می‌باشد. در این ارتباط استفاده از مدل‌های گیاهان زراعی در بسیاری از کشورها برای شبیه‌سازی واکنش گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی و روش‌های مدیریتی متفاوت در دهه‌های مختلف معرفی و توسعه داده شده‌اند. یکی از اهداف مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی، استفاده از آنها برای برآورد عملکرد، اجزا عملکرد و تغییرات پروفیل شوری خاک می‌باشد (۱۶).

مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای مهم و کارا در مطالعه و بررسی تاثیر شرایط و سناریوهای متفاوت مدیریتی بر روابط آب، خاک و گیاه بوده و از آنها می‌توان بمنظور تصمیم‌سازی و یا ارایه سناریوهای مدیریتی متناسب با شرایط منطقه و نیز پیش‌بینی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف استفاده کرد. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل SALTMED ،WOFOST، CROPSYST و AQUACROP اشاره کرد که هر کدام در راستای اهدافی خاص بکار رفته و دارای مزایا و معایبی می‌باشند. به دلیل این که عوامل موثر بر فرآیند تولید محصولات زراعی و ستاده‌های بخش کشاورزی متعدد بوده، لذا استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی فرآیند تولید و عملکرد محصولات، گامی موثر در امر مدیریت و تصمیم‌گیری در حوزه کشاورزی می‌باشد. با کمک مدل‌ها می‌توان عملکرد گیاه، تغییرات

۱ و ۲- استادیاران بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: emdadmr591@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.84734

شوری و رطوبت خاک را در سناریوهای متفاوت مدیریتی شبیه‌سازی نمود. رشد گیاهان زراعی به شرایط آب و هوایی، اقلیمی، خاک و مدیریت آبیاری وابسته است و تغییر در هریک از این شرایط می‌تواند باعث تغییر در بازدهی و عملکرد محصولات شوند. بنابراین اگر بتوان پیشاپیش با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و با اطلاعات موجود، وضعیت عملکرد گیاه را در شرایط مختلف مدیریتی شبیه‌سازی کرد، متعاقبا می‌توان با صرف وقت و هزینه کمتر به نتایج خوب و قابل ترویجی دست یافت.

یکی از مدل‌های گیاهی مدل آکواکراپ است که توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو) در سال ۲۰۱۲ ارائه‌شده و از قابلیت و کارایی مناسبی نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است (۱).گیرتس و همکاران (۵)، مدل AquaCrop را برای گیاه بومی کینوا تحت سناریوهای مختلف آبیاری واسنجی کردند. نتایج نشان داد که مدل ابزار ارزشمندی برای بررسی و تاثیر تجمعی مکانیسم های تحمل به تنش آبی بر گیاه کینوا می‌باشد. همچنین گزارش گردید که عملکرد محصول شبیه سازی شده از دقت بالایی برخوردار بوده و کارایی استفاده از مدل در شبیه‌سازی عملکرد مناسب و قابل قبول می‌باشد.

نصرالهی و همکاران (۱۳) مدل سالت‌مد را در شرایط مختلف مدیریت آبیاری با آبشور برای ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال در شبیه‌سازی عملکرد، بیوماس و تغییرات شوری خاک به‌ترتیب ۳/۲ ، ۲/۴ و ۹/۵ درصد محاسبه گردید که بیانگر دقت و کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات شوری خاک می‌باشد. ضیائی و همکاران (۲۱)، عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize را بمنظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت در منطقه کرج (بافت لومی) بررسی و نشان دادند که کارایی هر دو مدل مناسب بوده است. شاخص RMSE در برآورد عملکرد برای مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize به ترتیب بین ۲۰ تا۴۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد. تودوروویچ و همکاران (۲۰) دو مدل پایه‌ای Cropsyst و Wofost را با مدل Aquacrop در جنوب ایتالیا برای کشت آفتابگردان تحت سه رژیم مختلف آبیاری شامل تیمارهای آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده و دیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل Aquacrop کمتر از دو مدل مذکور نیاز به داده ورودی داشته، ضمن اینکه این مدل، مقدار ماده خشک تولیدی و عملکرد را در مرحله برداشت مشابه با دو مدل دیگر شبیه‌سازی می‌کند. مدل Aquacrop بر اساس تعرق و ماده خشک تولیدی گیاه بوده درحالی‌که مدل Cropsyst بر اساس در نظرگیری شاخص آب و تشعشع عمل می‌کند. همچنین مدل Wofost بر اساس روش استفاده از کربن و جزء تشعشع جذب شده شبیه‌سازی رشد را انجام می‌دهد.

حیدری نیا و همکاران (۹) مدل آکواکراپ را بمنظور شبیه‌سازی عملکرد ذرت و شوری خاک در شرایط کیفیت‌های مختلف آب از نظر شوری بررسی و گزارش نمودند که متوسط خطا برای شوری خاک ۱۰ تا ۱۳ درصد و برای عملکرد دانه ۳ تا ۶ درصد بوده و این مدل دقت کمی در شبیه‌سازی شوری خاک دارد. دقت نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی وابسته به‌دقت داده‌های مورد نیاز مدل بوده و در صورت اندازه‌گیری و تعیین دقیق داده‌های ورودی، مدل قابلیت کاربرد را در شرایط مختلف پس از واسنجی و اعتبارسنجی خواهد داشت (۸). در این ارتباط دو مدل آکواکراپ و سالت‌مد از جمله مدل‌های کاربردی بوده که به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد گیاهان و تغییرات شوری خاک از قابلیت و کارایی بالایی برخوردارند. مدل آکواکراپ توانایی بالایی در شبیه‌سازی پروفیل رطوبت در خاک داشته و توزیع رطوبت را با دقت بالاتری نسبت به تغییرات شوری در خاک شبیه‌سازی می‌کند (۱۳).

رجب و همکاران (۱۵) گزارش کردند که مدل سالت‌مد قابل کاربرد در آبیاری سطحی و قطره‌ای بوده و در سناریوهای مختلف آبیاری (با تغییر دور و عمق آبیاری)، استفاده از آب‌شور و مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی (از نظر نیتروژن) در شرایط مختلف نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. گلابی و همکاران (۶) و رزاقی و همکاران (۱۸) در استفاده از مدل سالت‌مد بمنظور بررسی و شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک بترتیب درکشت نیشکر و کینوا در شرایط شور نشان دادند که تغییرات معنی‌داری در مقادیر شوری خاک شبیه‌سازی‌شده با این مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشته و این مدل دقت مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در هر دو کشت را دارد.

سیلوا و همکاران (۱۹) مدل سالت‌مد را برای پیش‌بینی عملکرد دانه و ماده خشک نخود در رژیم‌های آبیاری در دو سال خشک و تر در جنوب پرتغال مورد استفاده قرار داده و گزارش نمودند که بیشترین درصد خطای مدل در شبیه‌سازی عملکرد خشک در سال خشک و تر به ترتیب ۴/۷ و ۵/۳ درصد بوده و از این مدل می‌توان جهت شبیه‌سازی و مدیریت آبیاری در سال‌های خشک و تر استفاده نمود. رامشواران و همکاران (۱۴) نتایج حاصل از تحقیق گلخانه‌ای و بررسی تأثیر آب‌شور را بترتیب بر عملکرد خیار و فلفل با مدل سالت‌مد بررسی و گزارش کردند که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات رطوبت خاک مناسب بوده و این مدل قابلیت استفاده در شرایط گلخانه را نیز دارا می‌باشد (۲). بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده درکشت کینوا، ذرت شیرین و نخود در مراکش با استفاده از ۶ تیمار کم آبیاری در مراحل گلدهی، دانه‌بندی و رشد اولیه گیاهان مذکور به‌وسیله مدل سالت‌مد نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی بیوماس و عملکرد دانه در هر سه گیاه موردنظر کارایی و دقت مناسبی داشته است. همچنین گزارش شده است که مقادیر متوسط درصد خطا در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس کینوا به ترتیب ۲/۵ و ۵ درصد بوده است. متوسط درصد خطا برای مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی‌شده برای نخود

به ترتیب ۴/۲ و ۶/۷ درصد و برای گیاه ذرت این مقادیر خطابه ترتیب برابر با ۱۰/۹ و ۱۲ درصد گزارش شده است (۱۱).

بررسی عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط متناوب استفاده از آب‌شور و غیر شور با مدل سالت‌مد در ۴ سطح شوری آب آبیاری ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک در آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای دقت مناسبی داشته و بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد (۴). ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی آکواکراپ و سالت‌مد در استفاده متناوب از آب‌شور و غیر شور در کشت ذرت علوفه‌ای نشان داد که خطای نسبی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد محصول از ۲/۹ تا ۳۰/۸ درصد و در شبیه‌سازی پروفیل شوری خاک از ۵/۹ تا ۴۵/۸ درصد متغیر بوده است. از طرف دیگر خطای نسبی مدل سالت‌مد در شبیه‌سازی عملکرد محصول از ۰/۹ تا ۲۴/۷ درصد و در شبیه‌سازی شوری خاک از ۲/۲ تا ۳۸/۲ درصد متغیر گزارش شده است (۱۰).

رنجبر و همکاران (۱۷) در استفاده از مدل سالت‌مد در شرایط شور برای گیاه سورگوم گزارش نمودند که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده شوری خاک وجود نداشته است. شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال برای شوری خاک در محدوده ۰/۱۸ تا ۰/۲۳ وبیشترین خطای متوسط شبیه‌سازی شده در تعیین شوری خاک، در لایه دوم (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) به میزان ۱/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد. رجب (۱۶) با بررسی کارایی مدل سالت‌مد در کشور های دانمارک، برزیل، ایتالیا و چند کشور دیگر گزارش نمود که این مدل دقت مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد، بیوماس، شوری و رطوبت خاک دارد. حسن لی و همکاران (۷ و ۸) سه مدل آکواکراپ، سالت‌مد و سوآپ را در شرایط شور و غیر شور برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای بررسی و اظهار داشتند که خطای مطلق نسبی برای مدل آکواکراپ، سالت‌مد و سوآپ بترتیب در محدوده ۳ تا ۳۱ درصد، ۱ تا ۲۵ درصد و ۰/۳ تا ۱۹ درصد می‌باشد.

نظر به اینکه تمرکز مدل سالت‌مد، عمدتا بر شوری خاک است لذا غالبا این مدل در شرایط شوری خاک و آب اطلاعات بیشتری را به عنوان ورودی دریافت نموده و از دقت بالاتری (خصوصا در شبیه سازی شوری خاک) نسبت به برآورد (عملکرد و بایوماس) برخوردار است. همچنین دقت مدل سالت‌مد در شبیه‌سازی شوری خاک در لایه های سطحی کمتر از لایه‌های عمقی بوده که این نتیجه بدلیل دینامیک حرکت آب، جذب بیشتر آب و تبخیر سطحی در لایه‌های سطحی خاک می‌باشد. برآیند نتیجه تحقیقات دال بر خطای کم این مدل خصوصا در شرایط شوری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی می‌باشد.

ازآنجاکه بررسی و اندازه‌گیری عملکرد و تغییرات شوری خاک در مدیریت‌ها و روش‌های مختلف آبیاری در گیاهان زراعی نیاز به‌صرف هزینه و زمانبر می‌باشد و در عمل امکان اجرای سناریوهای مختلف آبیاری به‌منظور بررسی عملکرد و تغییرات شوری خاک در شرایط مختلف مقدور نیست، لذا استفاده از مدل‌های کاربردی مانند سالت‌مد این امکان را فراهم می‌آورد تا پس از واسنجی و اعتبارسنجی بتوان سناریوهای مختلف مدیریتی را در راستای افزایش عملکرد محصول و پیش‌بینی تغییرات شوری خاک با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی و بمنظور ارتقا بهره‌وری آب توصیه نمود. نظر به اینکه شوری خاک یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر عملکرد و کارایی مصرف آب بوده و در منطقه مورد مطالعه (دشت آزادگان استان خوزستان) نیز خاک از درجات مختلف شوری برخوردار است، لذا ضروری است که در راستای ارتقا بهره‌وری آب، تغییرات عملکرد گندم و شوری خاک در سطوح شوری‌های مختلف با سناریوهای آبیاری معمول زارعین منطقه بررسی گردد. در این ارتباط کارایی مدل سالت‌مد پس از واسنجی و اعتبارسنجی بمنظور شبیه‌سازی عملکرد گندم و تغییرات شوری خاک در شرایط شوری‌های مختلف و در راستای پایداری منابع آب و خاک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در اراضی گندمکاری دشت آزادگان استان خوزستان و در سه منطقه رامسه (خاک شور)، عتابیه (خاک خیلی شور) و حمیدیه (خاک غیر شور) اجرا شد. در این راستا سه قطعه ۱۰ هکتاری در هر منطقه انتخاب و در هر یک از این قطعات یک پایلوت به مساحت ۲۰۰۰ متر مربع به‌منظور ارزیابی و اندازه‌گیری در نظر گرفته شد. شکل ۱ موقعیت پایلوت‌های منتخب را در مناطق مختلف ارائه می‌کند.

از اطلاعات سال اول بمنظور واسنجی مدل سالت‌مد و از اطلاعات میدانی سال دوم در راستای اعتبارسنجی نتایج استفاده شد. بذر گندم مورد استفاده رقم چمران و به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هر هکتار استفاده شد. عملیات خاکورزی به صورت شخم و دیسک در پایلوت‌های مورد نظر در ۸ آبان ماه انجام و قطعات به منظور انجام پژوهش آماده‌سازی گردیدند. نمونه‌برداری از خاک از سه عمق در ابتدا و انتهای دوره به همراه نمونه‌برداری از آب به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انجام شد. همچنین بمنظور عملیات کوددهی بر اساس آزمون خاک به مقدار ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بترتیب در زمان کاشت و گلدهی به خاک داده شد.



شکل ۱- موقعیت پایلوت‌ها (دشت آزادگان استان خوزستان)

Figure 1- Pilots location (Azadegan Plain of Khuzestan Province)

بر این اساس در سال اول (۹۴-۹۳)، با استفاده از مقادیر شوری اولیه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به شبیه‌سازی و بررسی تغییرات عملکرد گندم و شوری خاک با استفاده از مدل سالت مد و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده اقدام شد. در طول فصل زراعی نیز از آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز (شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، بارندگی، ساعت آفتابی و سرعت باد) به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق سطح مرجع و تبخیر-تعرق گندم استفاده شد. همچنین در طول فصل زراعی حجم آب آبیاری، ساعت آبیاری، عمق توسعه ریشه اندازه‌گیری و تعیین گردید. در انتهای فصل کشت نیز با اندازه‌گیری مستقیم از مزارع منتخب مقدار عملکرد دانه و بیوماس به همراه تغییرات شوری پروفیل خاک اندازه‌گیری و تعیین شد. با توجه به اطلاعات اندازه‌گیری شده، مدل سالت‌مد برای شرایط سال اول کشت مورد واسنجی قرار گرفت. از داده های اندازه‌گیری شده سال دوم مزارع منتخب در مناطق سه گانه بمنظور اعتبارسنجی مدل در سه شرایط غیر شور، شور و شوری زیاد استفاده گردید. جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مورد نظر را ارائه می‌نماید. جدول ۲ ویژگی‌های کیفی آب آبیاری مناطق مورد نظر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکپایلوت‌ها

Table 1- Mean of some soil physical and chemical properties of pilots

منطقه Region	عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil Texture	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی Volumetric Moisture of Field capacity (%)	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی Volumetric Moisture of Permanent wilting point (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g. cm^{-3})	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS. m^{-1})	نسبت جذبی سدیم Sodium Absorption ratio
رامسه Ramseh	0-30	Clay Loam	31.9	19.0	1.48	8.4	4.3
	30-60	Clay Loam	36.4	23.0	1.53	8.5	5.1
	60-90	Clay Loam	36.4	23.0	1.53	7.5	5.4
عتابیه Atabieh	0-30	Clay Loam	35.2	20.8	1.59	16.4	33.8
	30-60	Silty Clay	36.1	21.3	1.64	9.8	31.1
	60-90	Clay Loam	37.9	24.1	1.66	7.3	33.5
حمیدیه Hamidieh	0-30	Clay Loam	38.0	19.9	1.48	3.5	3.4
	30-60	Clay Loam	34.9	14.0	1.52	2.6	3.6
	60-90	Clay Loam	30.9	13.9	1.50	3.4	2.9

جدول ۲- ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در پایلوت‌های منتخب

Table 2- Irrigation water quality in selected pilots

منطقه Region	EC dSm^{-1}	pH	HCO3- $meqlit^{-1}$	Ca++ $meqlit^{-1}$	Mg++ $meqlit^{-1}$	Na+ $meqlit^{-1}$	SAR
حمیدیه و رامسه Hamidieh & Ramseh	1.9	7.9	1.7	7.0	7.5	8.0	3.0
عتابیه Atabieh	2.3	7.8	1.9	6.4	4.6	9.1	3.7

جدول ۳- برخی اطلاعات گیاهی موردنیاز اندازه‌گیری شده

Table 3- Some measured plant information

عامل گیاهی Plant factor	مقدار Value	عامل گیاهی Plant factor	مقدار Value
حداکثر طول ریشه Max root length	45 cm	طول دوره توسعه Development period length	35 days
حداقل طول ریشه Min root length	20 cm	طول دوره میانی Mid period length	55 days
حداکثر عملکرد محصول Max yield	4500 Kg/ha	طول دوره پایانی Final period length	35 days
طول دوره جوانه‌زنی Germination period length	10 days	کل دوره رشد Total Growth stage	165 days
طول دوره ابتدایی Initial period length	30 days	ارتفاع گیاه Plant Height	80 cm

جدول ٤- اطلاعات مدیریت آبیاری دو سال زراعی در مناطق موردنظر

Table 4- Irrigation management information for two years in the selected pilots

سال Year	سال اول First year	سال دوم Second year		
منطقه Pilots	رامسه Ramseh	رامسه Ramseh	حمیدیه Hamidieh	عتابیه Atabieh
عمق آب آبیاری کاربردی (میلی‌متر) Irrigation application depth (mm)	950	544	589	668
تعداد نوبت‌های آبیاری Irrigation events	5	4	3	4
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	140		228	
عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) Biomass (kg/ha)	6673	6000	10000	9300
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	2716	2700	4500	4200
شاخص برداشت (درصد) HI (%)	40	45	45	45

همانگونه که از جدول ۱ ملاحظه مـی‌گـردد بافـت غالـب خـاک مناطق مورد نظر لوم‌رسی می‌باشد. خـاک منـاطق حمیدیـه، رامسـه و عتابیه بترتیب دارای شوری کم، متوسـط و زیـاد هسـتند. کیفیـت آب آبیاری مورد استفاده بامیانگین شوری ۲ دسی‌زیمنس بـر متـر از نظـر شوری مناسب و طبق طبقه‌بندی ویلکوکس در کلاس C_3-S_1 (شوری زیاد با نسبت جذبی سدیمی کم) قرار گرفته و محدودیتی برای کاشت گندم نداشته و تاثیری برکاهش عملکـرد ایجـاد نمـی‌کنـد. برخـی از اطلاعات گیاهی اندازه‌گیری شده در جدول ۳ ارائه شده اسـت. تـاریخ

کاشت و برداشت گندم در دشت آزادگان بترتیب در دامنه ۱۵ آبان و ۳۰ فروردین ماه می‌باشد. شایان ذکر است کاشت گندم در پایلوت‌های مورد نظر با کودپاش سانتریفیوژ کششی متصل به تراکتور و برداشت به طریق دستی و در سطوح یک متر مربعی (در سه تکرار در هر یک از پایلوت‌های منتخب) انجام پذیرفت.

جدول ۴ نشان می‌دهد که مقدار کل بارندگی در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در بازه زمانی مهر تا اردیبهشت ماه برای سال اول و دوم به ترتیب ۱۴۰ و ۲۲۸ میلی‌متر بوده است.

مدل سالت‌مد

در این پژوهش از نسخه ۲۵-۰۴-۳ (۲۰۱۸) مدل استفاده و پس از واسنجی در سال اول، از تغییرات عملکرد و شوری خاک شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری در سال دوم برای اعتبارسنجی مدل در مناطق مختلف و در خاک‌های با درجات مختلف از نظر شوری استفاده گردید. در این مدل از اطلاعات هواشناسی (درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت آفتابی و بارندگی) برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه بر اساس روش پنمن مانتیث فائو (۱) استفاده شد. مقدار واقعی جذب آب توسط گیاه با استفاده از مدل سالت‌مد بر اساس رابطه کاردون و لتی محاسبه شد (۳).

$$S(z,t) = \left[\frac{S_{max}(t)}{1+\left(\frac{a(t)h+\pi}{\pi_{50}(t)}\right)^3}\right]\lambda(z,t) \quad (۱)$$

که در آن $S_{max}(t)$، حداکثر جذب آب توسط ریشه در شرایط بدون تنش، $\lambda(z,t)$، نسبت تغییرات عمق ریشه به زمان، h، پتانسیل ماتریک، π، فشار اسمزی و $a(t)$، ضریب وزنی پاسخ گیاه به پتانسیل ماتریک و اسمزی در زمان t و π_{50}، فشار اسمزی در شرایطی که جذب آب به ۵۰ درصد مقدار S_{max} کاهش یابد. نظر به رابطه بین جذب آب و تولید عملکرد، عملکرد نسبی محصول (RY) از نسبت جذب آب توسط ریشه در شرایط واقعی به بیشینه جذب آب ریشه در شرایط بدون تنش حاصل می‌گردد (رابطه ۲).

$$RY = \frac{\sum S(x,z,t)}{\sum S_{max}(x,z,t)} \quad (۲)$$

که در آن $S(x,z,t)$، مقدار جذب آب توسط ریشه در شرایط واقعی می‌باشد. همچنین عملکرد واقعی از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$AY = RY \times Y_{max} \quad (۳)$$

که در آن Y_{max}، عملکرد بیشینه و AY، عملکرد واقعی می‌باشد.

برخی داده‌های ورودی مدل شامل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل لایه خاک، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، هدایت هیدرولیکی، رطوبت اشباع و شوری پروفیل خاک در ابتدای کشت می‌باشند. از دیگر داده‌های ورودی به این مدل می‌توان به مقادیر حداقل و حداکثر عمق ریشه، مراحل فنولوژی گیاهی و طول دوره‌های رشد، ضریب گیاهی، ارتفاع گیاه و شاخص برداشت اشاره نمود. همچنین پارامترهای مدیریت آبیاری شامل روش آبیاری، تاریخ آبیاری، عمق و شوری آب آبیاری در هر نوبت نیز از جمله مواردی هستند که ضروری است در این مدل تعریف شوند. از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، خطای استاندارد (SE) و میانگین انحراف خطا (MBE) برای تعیین دقت مدل و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و SOLVER تعیین شد (۷).

جدول ۵- مقایسه عملکرد دانه و بیوماس گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سال اول

Table 5- Comparison of simulated and measured wheat grain yield and biomass in first year

پارامتر Parameters	بیوماس تن بر هکتار Biomass (t/ha)		عملکرد دانه تن بر هکتار Grain yield (t/ha)	
پایلوت Pilot	اندازه‌گیری شده Measured	شبیه‌سازی شده Simulated	اندازه‌گیری شده Measured	**شبیه‌سازی شده Simulated**
1	6.1	6.1	3.0	**2.6**
	6.9	6.2	2.8	**2.7**
	6.8	6.1	2.8	**2.6**
2	6.1	6.1	2.9	**2.6**
	6.9	6.2	2.8	**2.7**
	6.8	6.1	2.9	**2.6**
3	6.2	6.1	3.0	**2.6**
	6.9	6.2	2.9	**2.7**
	7.0	6.1	2.9	**2.6**
میانگین Average	6.6	6.1	2.9	**2.6**

نتایج و بحث

جدول ۵ مقادیر عملکرد و بیوماس گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده را در سال اول در سه پایلوت (رامسه) ارائه می‌کند.

همچنین جدول ۶ شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین انحراف خطای عملکرد دانه و بیوماس را ارائه می‌نماید. همان‌گونه که از جدول ۶ ملاحظه می شود مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و بیوماس گندم با مدل سالت‌مد قرابت و همخوانی بالایی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد.

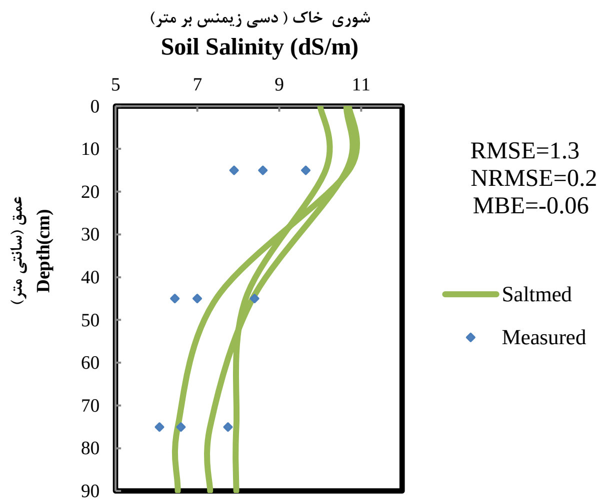
شکل ۲ تغییرات شوری پروفیل خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری در پایان دوره رشد گندم (پس از برداشت) را با یکدیگر مقایسه می‌کند. شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین انحراف خطای مدل در شبیه‌سازی شوری خاک ارائه شده در شکل ۲، نشان می‌دهند که مقادیر شبیه سازی شده شوری خاک در سه عمق نزدیکی مناسبی با مقادیر اندازه-گیری شده دارند.

پس از واسنجی مدل در سال اول، بمنظور اعتبارسنجی این مدل در سال دوم، از نتایج سه پایلوت در سه منطقه رامسه (خاک شور)، عتابیه (خیلی شور) و حمیدیه (غیر شور) استفاده گردید. شکل ۳ و ۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس گندم را در سال دوم برای تمام پایلوت‌ها ارایه می‌نماید.

جدول ٦– شاخص‌های آماری مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در سال اول

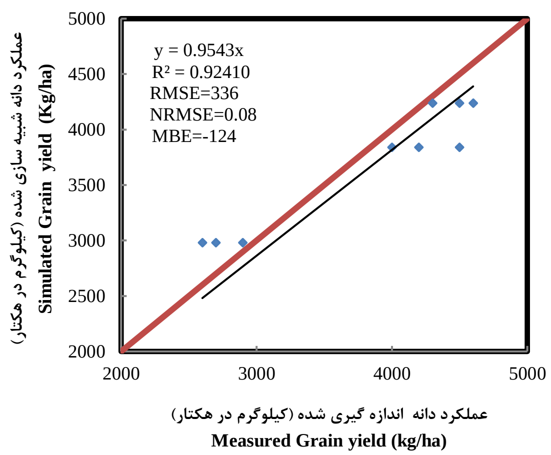
Table 6- Statistical indices for comparing simulated and measured values in the first year

شاخص آماری Statistical indices	MBE (t/ha)	NRMSE	RMSE (t/ha)
عملکرد دانه Grain yield	0.11	0.04	0.12
بیوماس Biomass	-0.49	0.10	0.61



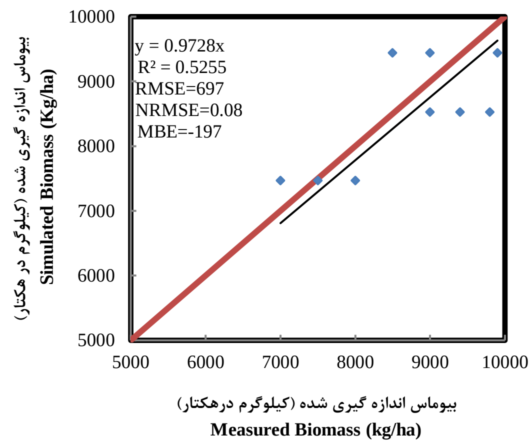
شکل ۲– مقایسه تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری در عمق‌های ۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ٦۰ و ٦۰ تا ۹۰ سانتی متری (سال اول، پس از برداشت)

Figure 2- Comparison of simulated and measured soil salinity variations in 0 - 30, 30 - 60 and 60 - 90 cm depths (first year, After Harvest)



شکل ۳- مقایسه مقادیر عملکرد دانه گندم اندازه‌گیری و شبیه سازی شده با مدل سالت‌مد نسبت به خط ۱:۱

Figure 3- Comparison of measured and simulated wheat grain yield using saltmed model with 1: 1 line



شکل ٤- مقایسه مقادیر بیوماس گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد نسبت به خط ۱:۱

Figure 4- Comparison of measured and simulated wheat biomassusing saltmed model with 1: 1 line

شاخص آماری NRMSEبرای عملکرد دانه و بیوماس ۰/۰۸ و نیز شاخص MBE برای عملکرد دانه و بیوماس بترتیب ۰/۱۲ - و ۰/۲۰ - تن در هکتار می‌باشد. همچنین مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد و بیوماس گندم نشان داد که تفاوت معنی داری بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده ملاحظه نمی‌گردد (جدول ۷). همانگونه که از شکل ۳ و ۴ و شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول ۷ ملاحظه می‌گردد، مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و بیوماس گندم در سه خاک غیرشور، شور و خیلی شور قرابت و همخوانی بالایی با مقادیر اندازه‌گیری شده متناظر با آن دارند که این بیانگر دقت و کارایی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس در درجات مختلف شوری خاک می‌باشد.

شکل‌های ۵ ، ۶ و ۷ روند تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در سه خاک موردنظر را بترتیب در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر ارائه می‌کند. از شکل‌های مذکور ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد در سه خاک خیلی شور، شور و غیر شور در سه لایه خاک مورد نظر نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

شکل ۸ روند تغییرات مقادیرشوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد و مقادیر اندازه‌گیری شده (در سه لایه خاک) را به همراه شاخص‌های آماری در سه شرایط شور، خیلی‌شور و غیرشور ارائه می نماید.

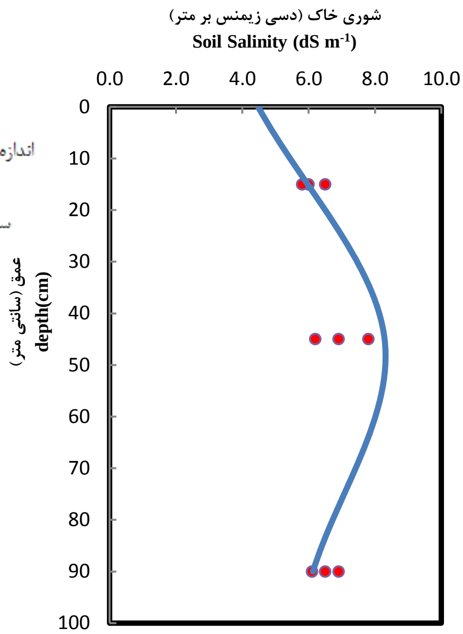
با توجه به شکل ۸ ملاحظه می‌گردد که این مدل با داشتن ریشه میانگین مربعات خطای نرمال و میانگین خطای انحراف بترتیب ۰/۱۸ و ۰/۱۳ - از دقت مناسبی در شرایط مختلف خاک از نظر شوری برخوردار است. در جدول ۸ نتایج تجزیه آماری تغییرات شوری خاک در سه لایه خاک در شرایط شوری‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۷- آزمون F-Test مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد و بیوماس گندم (تن در هکتار)

Table 7- F-Test test of simulated and measured values of wheat yield and biomass (t/ha)

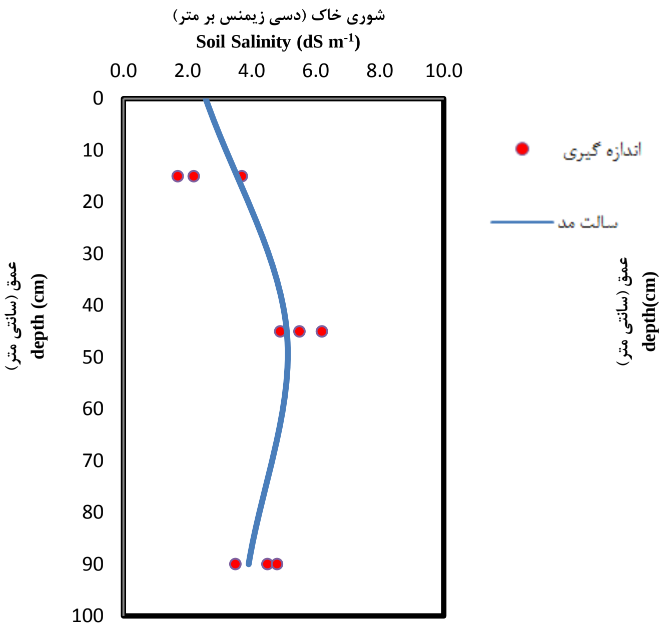
پارامتر Parameter	میانگین مقادیر اندازه‌گیری Mean measured values	میانگین مقادیر شبیه‌سازی Mean simulated values	میانگین تفاضل‌ها Mean of differences	خطای استاندارد Standard error	ضریب F	P
عملکرد دانه Grain yield	3.81	3.68	0.12	0.16	0.44	0.13^{ns}
بیوماس Biomass	8.68	8.48	0.20	0.63	0.71	0.32^{ns}

ns: معنی‌دار نیست.



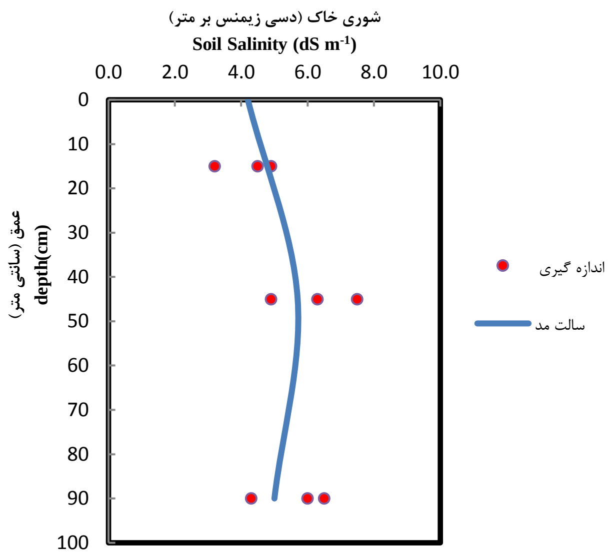
شکل ۵- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد در خاک خیلی شور

Figure 5- Comparison of measured and simulated soil salinity values using Saltmedmodel in very saline soil



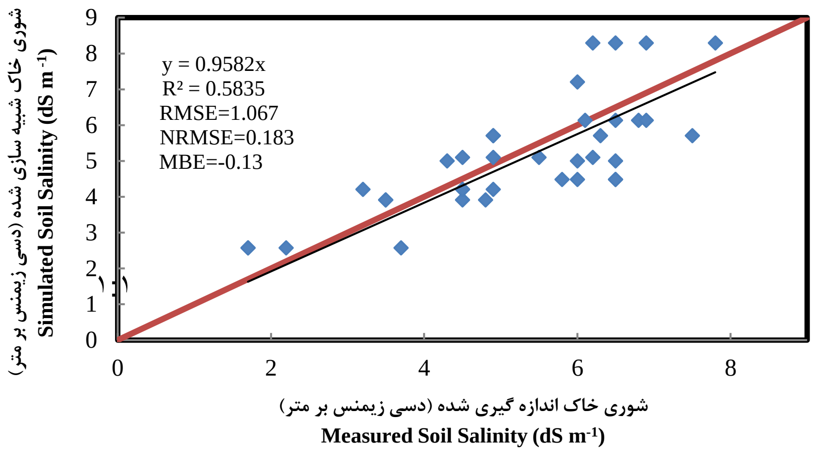
شکل ٦- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد در خاک غیر شور

Figure 6- Comparison of measured and simulated soil salinity values using Saltmedmodel in nonsaline soil



شکل ۷- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد در خاک شور

Figure 7- Comparison of measured and simulated soil salinity values using Saltmed model in saline soil



شکل ۸- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل سالت‌مد نسبت به خط ۱:۱
Figure 8- Comparison of measured and simulated soil salinity values using Saltmed model with1: 1 line

جدول ۸- آزمون F-Test مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شوری عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)
Table 8- F- test for simulated and measured salinity values in soil saturated extract (dSm^{-1})

عمق خاک Soil depth (cm)	میانگین مقادیر اندازه‌گیری Mean measured values	میانگین مقادیر شبیه سازی Mean simulated values	میانگین تفاضل‌ها Mean of differences	خطای استاندارد Standard error	ضریب F	P
0-30	5.70	5.04	0.66	1.1	0.99	0.49^{ns}
30-60	5.04	4.80	0.24	1.05	0.89	0.43^{ns}
60-90	5.48	5.04	0.44	0.81	0.63	0.27^{ns}
0-90	5.41	4.96	0.45	0.99	0.84	0.40^{ns}

ns : معنی‌دار نیست.

جدول ۸ نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در مقادیر شوری لایه‌های مختلف خاک وجود ندارد. خطای استاندارد در لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بترتیب ۱/۱، ۱/۰۵ و ۰/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. از طرف دیگر شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) در لایه اول (۰/۱۹) و دوم (۰/۲۲) بیشتر از لایه سوم (۰/۱۲) بوده که نشانگر این است که مدل لایه اول (۳۰-۰ سانتی‌متر) و لایه دوم (۶۰-۳۰ سانتی‌متر) را با دقت کمتری نسبت به لایه سوم (۹۰-۶۰ سانتی‌متر) شبیه‌سازی می‌نماید. چنین نتایج مشابهی توسط رنجبر و همکاران (۱۷) ارائه شده است. بنابراین ملاحظه می‌گردد که دقت این مدل در شبیه‌سازی شوری خاک در لایه‌های سطحی کمتر از لایه‌های عمقی می‌باشد که این نتیجه بدلیل دینامیک حرکت آب، جذب بیشتر آب و تبخیر سطحی در لایه های سطحی خاک می‌باشد که این موضوع توسط هیریچ و همکاران (۱۰) و سیلوا و همکاران (۱۹) نیز گزارش شده است.

بنابراین با توجه به نتایج و شاخص‌های آماری بدست آمده، ملاحظه می‌گردد که این مدل دقت و کارایی مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد، بیوماس و شوری خاک در شرایط مختلف شوری در لایه‌های خاک را دارد.

نتیجه‌گیری

چنانچه از نتایج و شاخص‌های آماری حاصله ملاحظه می‌گردد تغییرات معنی‌داری در مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده عملکرد و بیوماس گندم در سه شرایط شوری خاک ملاحظه نگردید. شاخص خطای استاندارد برای عملکرد دانه و بیوماس گندم به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۶۳ تن در هکتار تعیین شد. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای صفات عملکرد دانه و بیوماس گندم ۰/۰۸ بود. از طرف دیگر مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سه لایه مورد نظر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. محدوده تغییرات خطای استاندارد شوری خاک بین ۰/۸۱ تا ۱/۱، ریشه میانگین و مربعات خطای نرمال شده ۰/۱۸ و میانگین انحراف خطای شوری خاک ۰/۱۳- حاصل گردید. از طرف دیگر شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) در لایه اول (۰/۱۹) و دوم

(۰/۲۲) بیشتر از لایه سوم (۰/۱۲) بوده که نشانگر این است که مدل لایه اول (۳۰-۰ سانتی متر) و لایه دوم (۶۰-۳۰ سانتی‌متر) را با دقت کمتری نسبت به لایه سوم (۹۰-۶۰ سانتی‌متر) شبیه‌سازی می‌نماید. بنابراین ملاحظه می‌گردد که دقت این مدل در شبیه‌سازی شوری خاک در لایه‌های سطحی کمتر از لایه‌های عمقی می‌باشد که این نتیجه بدلیل دینامیک حرکت آب، جذب بیشتر آب و تبخیر سطحی در لایه‌های سطحی خاک می‌باشد.

بنابراین با توجه به نتایج و شاخص‌های آماری اشاره شده، این مدل از کارایی و دقت مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد دانه، بیوماس گندم و تغییرات شوری خاک در شرایط مختلف خاک از نظر شوری برخوردار بوده و می‌توان از این مدل به منظور پیش‌بینی عملکرد و تغییرات شوری خاک در راستای پایداری منابع آب و خاک استفاده نمود.

منابع

1- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome, Italy. 300: 6541

2- Aly A.A., Al-Omran A.M., and Khasha A.A. 2015. Water management for cucumber: Greenhouse experiment in Saudi Arabia and modeling study using Saltmed model. Soil and Water Conservation 70(1): 1-11.

3- Cardon E.G., and Letey J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Science Society American Journal 56: 1876-1880.

4- Dastranj M., Noshadi M., Sepaskhah A.R., Razzaghi F., and Ragab R. 2018. Soil salinity and tomato yield simulation using Saltmed Model in drip Irrigation. Irrigation and Drainage Engineering 144(2): 7001-7022.

5- Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R., Cusicanqui J.A., Taboada C., Mendoza J., Huanca R., Mamani A., Condori O., Mamani J., Morales B., Osco V., and Steduto P. 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. Agronomy Journal 101: 499–508.

6- Golabi M., Naseri A.A., and Kashkuli H.A. 2009. Evaluation of Saltmed model performance in irrigation and drainage of sugarcane farms in Khuzestan province of Iran. Food. Agriculture and Environment 7(2): 874-880.

7- Hassanli M., Ebrahimian H., Mohammadi E., Rahimi A., and Shokouhi A. 2016.Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the Aquacrop, SALTMED, and SWAP models. Agricultural Water Management 176: 91-99.

8- Hassanli M., Afrasiab P., and Ebrahimian H. 2015. Evaluation of AquaCrop vs SALTMED model to estimate crop yield and soil salinity. Iranian. Journal Soil and Water Research 46(3): 487-498. (In Persian with English abstract)

9- Heidarinia M., Boroomand Nasab S., Naseri A., and Albaji M. 2017.AquaCrop model evaluation to estimate of Maize yield and soil salinity under different agriculture managements and irrigation with saline water. Iranian. Journal Soil and Water Research 48(1): 49-61. (In Persian with English abstract)

10- Hirich A., Choukr-Allah R., Ragab R., Jacobsen S.E., El Youssfi L., and El Omari H. 2012.The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. Environal. Science 3: 342-359.

11- Mohammadi M., Davari K., Ghahreman B., Ansari H., and Haghverdi A. 2015. Calibration and validation of AquaCrop model for the simulation of spring wheat yield under simultaneous stress of salinity and drought. Water Research in Agriculture 29(3): 277-295. (In Persian with English abstract)

12- Nasrollahi A., Hooshmand A., and Heydarinia M. 2016. Evaluation of the SALTMED model under different managements of drip irrigation with saline water. Iranian. Journal Soil and Water Research 47(3): 561-567. (In Persian with English abstract)

13- Rameshwaran P., Tepe A., Yazar A., and Ragab R. 2014. The effect of saline irrigation water on the yield of pepper. Experimental and modeling study. Wiley Online Library: Retrieved February18. 2015. from http:doi/ 10. 1002/ird.1867///onlinelibrary.wiley.com. 64(1):41-49.

14- Ragab R., Malash N., Abdel Gawad G., Arsalan A., and Ghaibeh A. 2005. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management The Saltmed model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. Agricultural Water Management 78: 89-107.

15- Ragab R. 2015. Integrated Management Tool for Water, Crop, Soil and N-Fertilizers: The Saltmed Model. Irrigation and Drainage 64(1): 1-12.

16- Ranjbar G.H., Ghadiri H., Razzaghi F., Sepaskhah A.R., and Edalat M. 2015. Evaluation of the SALTMED model for sorghum. International Journal of Plant Production 9(3): 373-392.

17- Razzaghi F., Plauborg F., Ahmadi S.H. Jacobsen S-E. Anderson M. N. and Ragab R. 2011.Simulation of quinoa (*Chinopodium quinoa* wild.) response to soil salinity using the Saltmed model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage.15-23 Oct.Tehran, Iran 56(3): 25-32.

18- Silva L.L., Ragab R., Duarte I., Lourenc E., Simo˜es N., and Chaves N.N. 2013.Calibration and validation of Saltmed model under dry and wet year conditions using chickpea field data from Southern Portugal. Irrigation Science 31: 651–659.

19- Todorvic M., Albrizio R., Zivotic L., Abi Saab M., Stocle C., and Steduto P. 2009. Assesment of Aquacrop, Cropsyst, and Wofost models in the simulation of sunflower Growth under different water regimes. Agronomy Journal 101: 509-521.
20- Ziaii G., Babazade, H., Abbas, F., and Kaveh F. 2014. Evaluation of the Aquacrop and CERES-Maize models in assessment of soil water balance and maize yield. Iranian Journal of Soil and Water Research 45(4): 435-445. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 933-946

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۹۴۶-۹۳۳

Evaluation of SALTMED Model in Simulation of Wheat Yield and Soil Salinity Variations at Saline and Nonsaline Conditions

M.R. Emdad[1*]- A. Tafteh[2]
Received: 28-12-2019
Accepted: 14-03-2020

Introduction: SALTMED model is one of the most practical tools for simulating soil salinity and crop production yield. Growth models are important and efficient tools for studying and evaluating the impact of different management conditions and scenarios on water, soil and plant relationships and can be used to make or predict appropriate management scenarios according to the region's conditions and to predict plant performance in the field. Since the performance of irrigation scenarios in field conditions are costly and time consuming, and due to the limited water resources in the country and the necessity of optimal water use in agriculture, using the efficient and generic models can be useful tool for simulating crop production and soil salinity variations. This research has been conducted in order to simulate soil salinity and yield production using SALTMED model in Azadegan Plain of Khuzestan province.

Materials and Methods: This study was carried out in wheat fields of Azadegan plain in Khuzestan province during 2014-2015 in three regions including Ramseh (as saline soil), Atabieh (as very saline soil) and Hamidieh (as control, non-saline soil). Three 10-hectare plots were selected in each area and a pilot with area of 2000 m^2 was used for evaluation and measurement in each plot. First year data were used to calibrate the SALTMED model and second year field data were used to validate the model and to achieve the results in three conditions. The dominant soil texture in the area was clay loam. The quality of used irrigation water with average salinity of 2 dSm^{-1} was classified as C_3-S_1(high salinity with low sodium absorption ratio) and had no effect on wheat yield loss. In this study, version 3-04-25(2018) of SALTMED model was used and after calibrating in the first year, the results of simulated wheat grain yield and soil salinity variation values were used for model validation in different regions and in soils with different degrees of salinity, in the second year.

Results and Discussion: The average measured and simulated biomass yield in the first year were 6.6 and 6.1 t/ha, respectively. Furthermore, the average of measured and simulated of wheat grain yield was 2.9 and 2.6 t/ha, respectively. Some statistical indices including mean bias error, normalized root mean square error, and root mean square error for grain yield were 0.11, 0.04, and 0.12 t/ha, respectively. The values of the same statistical parameters for biomass were -0.49, 0.1, and 0.61t/ha, respectively. These results showed that the measured values of grain yield and wheat biomass were in good agreement with the simulated values using SALTMED model. The simulated and measured variations of soil salinity at three soil depths of 0-30, 30-60, and 60-90 cm, showed close agreement with each other in three layers. Root mean square error, normalized root mean square error, and mean bias error for soil salinity values were 1.3, 0.20, and -0.06, respectively. After calibrating the model in the first year, to validate this model in the second year, the results of three pilots locations in three regions of Ramseh (saline), Atabieh(very saline) and Hamidieh(non-saline) were used. Comparison of simulated and measured wheat grain yield and biomass values showed that there was no significant difference between simulated and measured values. The simulated values of grain yield and wheat biomass in the three non-saline, saline and very saline soils had high correlation with the measured values, indicating high accuracy and efficiency of this model in simulating grain and biomass yield in different degrees of soil salinity. Moreover, the trend of soil salinity changes simulated by the SALTMED model in three highly saline, saline and non-saline soils (for three soil layers) was close to the measured values. The SALTMED model with normalized root mean square error and mean bias error of 0.18 and -0.13, respectively, showed good accuracy in different salinity conditions. There was no significant difference (5% level) between the measured and simulated salinity values of the different soil layers. The mean standard error at the 0-30, 30-60, and 60-90 cm layers was 1.1, 1.05, and 0.81 dSm^{-1}, respectively. Therefore, based on the results and statistical indices, it was found that SALTMED model

1 and 2- Assistant Professors of Irrigation and Soil Physics Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: emdadmr591@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.84734

had good accuracy and efficiency in simulating yield, biomass and soil salinity under different salinity conditions.

Conclusion: According to the results and statistical indices, SALTMED model had good performance and accuracy in simulating grain yield, biomass and soil salinity variations in different soil salinity conditions and so it can be used to predict wheat yield, yield components and soil salinity in different soil condition with different degrees of soil salinity to sustain soil and water and improve water productivity in similar areas.

Keywords: Biomass, Calibration, Grain yield, Khuzestan province, Salinity, SALTMED model, Validation